Journal of Agricultural Machinery

Homepage: https://jame.um.ac.ir

Research Article
Vol. 13, No. 4, 2023, p. 383-404

Evaluation and Optimization of Energy and Environmental Indicators Using Life Cycle Assessment and Data Envelopment Analysis (Case Study: Industrial Cattle Farms in Northern Khuzestan)

R. Fathi[1], M. Ghasemi Nejad-Raeini[1*], R. Hesampour[1]

1- Department of Agricultural Machinery and Mechanization Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Rural Development, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran
(*- Corresponding Author Email: ghasemi.n.m@asnrukh.ac.ir)

Received: 10 April 2022 Revised: 02 June 2022 Accepted: 09 June 2022 Available Online: 11 June 2022	**How to cite this article:** Fathi, R., Ghasemi Nejad-Raeini, M., & Hesampour, R. (2023). Evaluation and Optimization of Energy and Environmental Indicators Using Life Cycle Assessment and Data Envelopment Analysis (Case Study: Industrial Cattle Farms in Northern Khuzestan). *Journal of Agricultural Machinery, 13*(4), 383-404. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jam.2022.76155.1100

Introduction

Environmental crises and resource depletion have adversely affected environmental resources and food security in the world. Therefore, with the global population growth in the coming years and the rising need to produce more food, attention must be given to environmental issues, energy consumption, and sustainable production. The purpose of this study is to evaluate the pattern of energy consumption, environmental impacts, and optimization of the studied energy indicators in dairy cattle breeding industrial units in Khuzestan province, Iran.

Materials and Methods

This research was conducted in Khuzestan province, located in the southwest of Iran. Energy indicators including energy ratio, energy efficiency, specific energy, and net energy were used to determine and analyze the relationships between the output and input energy. Additionally, the life cycle assessment methodology was used to assess the environmental impact. Life cycle assessment includes a goal statement, identification of inputs and outputs, and a system for assessing and interpreting environmental impacts, and can be a good indicator for assessing environmental issues related to production. The life cycle assessment method used in this study was CML-IA baseline V3.05, which includes the four steps of (1) selecting and classifying impact categories, (2) characterizing effects, (3) normalizing, and (4) weighting. Overall, 11 impact groups were studied. The Data Envelopment Analysis (DEA) method with the Anderson-Peterson model was used for optimization. This method identifies the most efficient production unit and makes it possible to rank all of the farms in the region. In this study, each production unit (farm) was considered a decision-making unit (DMU), and its production efficiency was determined based on two models. Namely, the Charnes, Cooper, and Rhodes (CCR) model also known as Constant Return to Scale (CRS), and the Banker, Charnes, and Cooper (BCC) model also known as Variable Return to Scale (VRS).

Results and Discussion

The results showed that the input and output energies per cow per day were 173.34 and 166 MJ, respectively. Livestock feed and electricity accounted for 65.47% and 27.2% of the input energy, respectively, while the oil used for tiller-scraper lubrication of fertilizer collection accounted for only 0.01%, making it the lowest input energy. Energy efficiency, specific energy, and net energy were calculated as 0.95, 0.13 kg MJ^{-1}, 7.51 MJ kg^{-1},

https://doi.org/10.22067/jam.2022.76155.1100

and -7.20 MJ per cow, respectively. In the abiotic depletion impact group, animal feed, machinery, and livestock equipment had the highest environmental impacts. The results showed that animal feed had the highest environmental emissions in all impact groups except for abiotic depletion of fossil fuels where electricity had the greatest effect. CRS model determined that 7 units were efficient; with an average efficiency of 0.78. In the BCC model, 20 production units were calculated as highly efficient, and the average efficiency was computed to be 0.78.

Conclusion

In dairy farms in Khuzestan province, animal feed and electricity were found to have the highest energy consumption. In most impact groups, animal feed had the highest environmental effects. Specifically, in the abiotic depletion impact group, animal feed, livestock machinery, and equipment had the highest environmental effects. Considering the length of the heat period and the intensity of the solar flux, the installation of solar panels on the farm's roof to generate electricity can help reduce the consumption of non-renewable energy and mitigate radiation intensity under the roof.

Keywords: Data envelopment analysis, Environmental impacts, Industrial dairy farm, Life cycle assessment

نشریه ماشین‌های کشاورزی
https://jame.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۳، شماره ٤، زمستان ١٤٠٢، ص ٤٠٤-۳۸۳

ارزیابی و بهینه‌سازی شاخص‌های انرژی و زیست‌محیطی با استفاده از ارزیابی چرخه حیات و تحلیل پوششی داده‌ها (مطالعه موردی: گاوداری‌های صنعتی شمال خوزستان)

رستم فتحی[1]، محمود قاسمی‌نژاد رائینی[1*]، رضا حسام‌پور[1]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۱۹

چکیده

هدف از این پژوهش ارزیابی الگوی مصرف انرژی، اثرات زیست‌محیطی و بهینه‌سازی شاخص‌های انرژی در واحدهای صنعتی پرورش گاو شیری در استان خوزستان بود. برای تحلیل انرژی مصرفی، ارزیابی اثرات زیست‌محیطی و بهینه‌سازی انرژی، به‌ترتیب از شاخص‌های انرژی، ارزیابی چرخه حیات و تحلیل پوششی داده‌ها با مدل اندرسون-پیترسون استفاده شد. تعداد ۳۰ واحد تولیدی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که خوراک دام و الکتریسیته به‌ترتیب با ۶۵/۴٪ و ۲۷/۲٪ بیشترین و روغن مصرفی برای روغن‌کاری تیلر-اسکریپر جمع‌آوری کود با ۰/۰۱ درصد کمترین انرژی ورودی را به خود اختصاص دادند. تعداد واحدهای کارا با استفاده از مدل بازگشت به مقیاس ثابت، ۷ واحد (و واحدهای ناکارا برابر ۲۳ واحد) تعیین شد و میانگین واحدهای تولید از نظر کارایی ۰/۷۸ به‌دست آمد. براساس مدل بازگشت به مقیاس ثابت یک واحد زمانی کارآمد است که کارایی آن برابر یک باشد، در غیر این‌صورت ناکارآمد است. هدف اصلی یافتن واحد مرجع برای یک واحد ناکارآمد نیز تشخیص میزان مازاد ورودی استفاده شده بود که براساس آن بتوان برای بهبود کارایی برنامه‌ریزی نمود. در اکثر گروه‌های اثر، خوراک دام و در گروه اثر پتانسیل تقلیل منابع غیرآلی، خوراک دام، ماشین‌ها و تجهیزات دامداری، بالاترین اثرات زیست‌محیطی را دارا بودند. در همه‌ی گروه‌های اثر غیر از پتانسیل تقلیل منابع غیرآلی مربوط به سوخت‌های فسیلی، خوراک دام بیشترین انتشارات زیست‌محیطی را دارا بود. با توجه به طول دوره گرما و شدت شار تابش خورشید، استفاده از صفحات خورشیدی روی سقف دامداری‌ها برای تامین برق مورد نیاز می‌تواند سبب کاهش مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر شود.

واژه‌های کلیدی: اثرات زیست محیطی، ارزیابی چرخه حیات، تحلیل پوششی داده‌ها، گاوداری صنعتی

مقدمه

بحران‌های زیست‌محیطی و تخریب منابع، بر امنیت غذایی در سراسر جهان تأثیر نامطلوب گذاشته است (Yadav *et al*., 2019). ازاین‌رو هم‌زمان با اجرای برنامه‌ها برای تأمین امنیت غذایی و اهداف اقتصادی و اجتماعی، دستیابی به پایداری تولید، یک چالش بزرگ برای محققان و سیاست‌گذاران کشورها است (El Bilali, Callenius, Strassner, & Probst, 2019; Lindgren *et al*., 2018). از این‌رو برای دستیابی به تولید پایدار و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، استفاده‌ی کارآمد از انرژی و به‌کارگیری سیستم‌ها و شیوه‌های کارآمد برای استفاده بهینه از منابع ضروری است (Fathollahi, Mousavi-Avval, Akram, & Rafiee, 2018). استفاده بهینه از انرژی در کشاورزی مشکلات زیست‌محیطی را کاهش داده و سبب تسهیل در دستیابی به کشاورزی پایدار می‌شود (Erdal, Esengün, Erdal, & Gündüz, 2007). از آن‌جا که موضوعات زیست‌محیطی و انرژی کاملاً به هم وابسته هستند، نیاز به درک جامعی برای مدیریت آن‌ها در تولید وجود دارد (Ciacci & Passarini, 2020). از مهم‌ترین عواملی که محیط‌زیست را تحت تاثیر قرار می‌دهد انتشار گازهای گلخانه‌ای است. انتشار گازهای گلخانه‌ای منجر به اسیدی شدن اکوسیستم و مشکلات دیگری می‌شود که ممکن است گیاهان، حیوانات و انسان‌ها را تحت تأثیر قرار

۱- گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: ghasemi.n.m@asnrukh.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jam.2022.76155.1100

دهد (Audsley *et al*., 1997). اکسید نیتروژن، دی‌اکسید کربن و متان، از آلاینده‌های اصلی در بخش کشاورزی بوده (Bhatta, Saravanan, Baruah, & Prasad, 2015) و سامانه‌های تولید لبنیات از منابع اصلی انتشار این آلاینده‌ها به‌شمار می‌آیند (FAO, 2018). نقش مزارع دامداری در انتشار گازهای گلخانه‌ای در درجه‌ی اول مربوط به انتشار متان و مونوکسید دی‌نیتروژن ناشی از فضولات دامی است (Chianese, Rotz, & Richard, 2009; Gerber *et al*., 2013). تخمین زده شده است که بخش دامداری، تولید ۱۵٪ از انتشار گازهای گلخانه‌ای جهان را به خود اختصاص می‌دهد (Philippe & Nicks, 2015).

پاترا و یو (Patra & Yu, 2015) بیان کردند که متان حاصل از تخمیر روده و کود دامی عامل انتشار ۲۷٪ از گازهای گلخانه‌ای ناشی از تولیدات کشاورزی و ۸۰٪ از انتشار گازهای گلخانه‌ای تولیدشده در بخش دامداری است. سازمان خوار بار و کشاورزی سازمان ملل متحد نیز سهم بخش دامداری در انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های انسانی در سراسر جهان را حدود ۷/۲٪ گزارش نموده است (FAO, 2010). بنابراین برای دولت‌ها و محققان، تدوین راهبردهای مؤثر برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در اولویت زیادی قرار دارد (Pacheco, Waghorn, & Janssen, 2014; Philippe & Nicks, 2015).

بررسی مطالعات نشان می‌دهد که انتشارات زیست‌محیطی ناشی از فعالیت دامداری‌ها، بسته به شرایط مختلف از جمله سیستم تولید و شرایط بهره‌برداری متفاوت است. محققان بیان کرده‌اند که بیش‌تر عوامل موثر بر بهره‌وری که سبب افزایش تولید شیر می‌گردند، توسط بهره‌برداران واحدهای دامداری قابل مدیریت است (Siewert, Salfer, & Endres, 2018). محققان در مطالعه انتشار گازهای گلخانه‌ای از مزارع دامی، گله‌های گاو و کود دامی، نتیجه گرفتند که اتخاذ بهترین شیوه‌های مدیریت تغذیه‌ای، زراعی و مدیریت کودی ممکن است میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را به مقدار قابل‌توجهی در کلیه سیستم‌های دامی کاهش دهد (Wattiaux, Uddin, Letelier, Jackson, & Larson, 2019). در تحقیقی چهار سیستم معمول تولید شیر در ایتالیا مقایسه شدند. در این تحقیق محققان افزایش فعالیت در واحدهای دامداری را نتیجه‌ی اتخاذ تدابیری برای رشد مقدار تولید شیر عنوان کردند. تحقیقات آن‌ها نشان داد که افزایش فعالیت در دامداری‌ها منجر به کاهش اثرات زیست‌محیطی به‌ازای هر کیلوگرم شیر تولیدی برای آلاینده‌های اتروفیکاسیون دریایی، اتروفیکاسیون آب شیرین، استفاده از انرژی تجدیدناپذیر و از دست دادن تنوع زیستی می‌گردد. در مقابل، از بین رفتن تنوع زیستی محلی در هر متر مربع، با شدت تولید شیر ارتباطی مثبت داشت (Battini, Agostini, Tabaglio, & Amaducci, 2016). در پژوهشی ۱۸ واحد دامداری در جنوب کشور آلمان را مورد بررسی قرار گرفت. این مزارع مبتنی بر سه سناریو تحت عناوین تولید لبنیات با سیستم فشرده، سیستم توسعه‌داده‌شده و سیستم تولید ارگانیک دسته‌بندی شدند. نتایج نشان داد که بیش‌ترین میزان مصرف انرژی برای هر واحد محصول مربوط به سیستم تولید فشرده بود. بالاترین پتانسیل گرمایش جهانی در واحد تولیدی در سیستم توسعه‌یافته و بالاترین میزان اسیدی شدن در واحد سطح مزرعه، مربوط به سیستم ارگانیک بود (Haas, Wetterich, & Köpke, 2001). در پژوهشی دیگر پیامدهای زیست‌محیطی تشدید فعالیت دامداری‌ها در نیوزلند مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که افزایش فعالیت در واحدهای دامداری در همه‌ی سطوح، سبب تشدید اثرات زیست‌محیطی در تمام زمینه‌ها (پتانسیل گرم شدن کره زمین، اسیدی شدن، اتروفیکاسیون، مصرف انرژی و غیره) هم در هکتار زمین مورد استفاده و هم در کیلوگرم شیر تولیدی گردید (Basset-Mens, Ledgard, & Boyes, 2009). در برخی تحقیقات به نقش نوع نهاده‌های مصرفی مورد استفاده در تغذیه دام در انتشارات زیست‌محیطی نیز اشاره شده است. در پژوهشی که به‌منظور ارزیابی زیست‌محیطی دو نوع علوفه‌ی ذرت سیلویی و یونجه مورد استفاده در دامداری‌ها، انجام شد، نتایج نشان داد که اثرات زیست‌محیطی ناشی از مصرف ذرت سیلویی شامل پتانسیل گرم شدن کره زمین، اکسیداسیون فتوشیمیایی و اسیدی شدن، بالاتر از یونجه بود (Fathollahi *et al*., 2018). تحقیقات نشان می‌دهد که استفاده‌ی بیش‌تر از منابع، منجر به افزایش اثرات زیست‌محیطی در واحد سطح می‌شود (Jan, Repar, Nemecek, & Dux, 2019). بنابراین روش‌های مدیریت منابع باید بهبود یابد تا به افزایش پایداری تولید منجر شود. در استان خوزستان واحدهای متعدد پرورش صنعتی گاو شیری وجود دارد. در این سیستم‌ها، حیوانات از باقی‌مانده‌های محصولاتی که در مزارع تولید می‌شود و با استفاده از برخی محصولات خوراکی خریداری‌شده تغذیه می‌شوند. استفاده از فرآورده‌های فرعی برخی صنایع محلی به‌عنوان خوراک دام نیز یکی از ویژگی‌های مهم در تولید محصولات دامی است (Anzai *et al*., 2016). با توجه به نقش مهم مدیریت مصرف انرژی در دستیابی به کشاورزی و دامداری پایدار، انجام پژوهش‌های علمی به‌منظور بهره‌برداری بهینه از منابع موجود، ضروری است. لذا هدف از این پژوهش ارزیابی الگوی مصرف انرژی، انتشارات زیست‌محیطی و بهینه‌سازی شاخص‌های مربوطه در واحدهای صنعتی پرورش گاو شیری در شهرستان‌های شمال استان خوزستان بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در استان خوزستان واقع در جنوب‌غرب ایران با مساحت ۶۴۰۵۷ کیلومتر مربع انجام شده است. این استان بین ۲۹ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۳۳ درجه و صفر دقیقه عرض شمالی از خط استوا و ۴۷ درجه و۴۰ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ واقع گردیده است (Anonymous, 2017). براساس آمارنامه کشاورزی کشور، در سال ۱۳۹۸ تعداد ۲۶۹۸۳ واحد گاوداری صنعتی با تعداد ۱۷۰۰۰۰۰ راس گاو و گوساله در کشور وجود داشت که از این تعداد ۱۶۸۳۶ واحد مربوط به پرورش گاو شیری و مابقی، واحدهای پرواربندی بود (Anonymous, 2020). همچنین در سال ۱۳۹۹ تعداد گاوداری‌های صنعتی فعال استان خوزستان برابر ۵۲۶ واحد گزارش شد که از این تعداد ۲۴۷ واحد مربوط به گاوداری‌های شیری و ۲۷۹ واحد مربوط به پرواربندی بوده است (Anonymous, 2021b). علاوه بر این تولید کل شیر کشور در سال ۱۳۹۹ برابر با ۱۱۲۶۸۰۳ تن بود و استان خوزستان با تولید ۳۴۱۰۰۰ تن شیر، ۳۰٪ تولید شیر کشور را دارا داشت (Anonymous, 2021a). از این مقدار شیر تولیدی در استان خوزستان، ۱۰۹۱۰۶ تن آن (۵۱٪) از واحدهای پرورش گاو شیری تولید شد. این نشان می‌دهد که بخش اعظم تولید شیر در استان خوزستان در گاوداری‌ها تولید گردیده است (Anonymous, 2021b).

جامعه مورد مطالعه در این تحقیق واحدهای صنعتی پرورش گاو شیری در شهرستان‌های اندیمشک، دزفول، شوش و شوشتر بود. این شهرستان‌ها مجموعا دارای ۱۷۶۹ واحد بهره‌برداری از گاو و گوساله (صنعتی و سنتی) با تعداد ۳۸۴۵۱ راس گاو و گوساله بودند. اما تعداد مزارع پرورش صنعتی گاو شیری در این چهار شهرستان برابر تعداد ۱۱۲ واحد بود. در جدول ۱ اطلاعات مربوط به وضعیت تعداد گاو و گوساله، تولید گوشت قرمز و شیر در کل کشور و استان خوزستان نشان داده شد (Anonymous, 2020).

جدول ۱– وضعیت موجودی گاو و گوساله در کشور و استان خوزستان بر اساس آمار سال ۱۴۰۰

Table 1- Status of cattle and calves in Iran and the province of Khuzestan based on data from 2020

عنوان Item	تعداد بهره‌بردار Number of personnel	تعداد گاو و گوساله Number of cows and calves	تولید گوشت Meat production (beef and veal) (Tonne)	تولید شیر Milk production (beef and veal) (Tonne)
Iran	619667	7986000	884300	1126803
Khuzestan	52700	331793	43960	341000

به‌منظور انتخاب واحدهای گاوداری و تکمیل پرسش‌نامه‌ها، از روش نمونه‌گیری تصادفی ساده استفاده شد و تعداد نمونه‌ها با استفاده از رابطه (۱) ۳۰ واحد صنعتی پرورش گاو شیری تعیین شد (Cochran, 1977).

$$n=\frac{\frac{z^2pq}{d^2}}{1+\frac{1}{N}\left(\frac{z^2pq}{d^2}-1\right)} \qquad (۱)$$

در این رابطه 'n' حجم نمونه مورد نیاز، 'N' تعداد واحدهای گاوداری، "z" ضریب اطمینان (برابر با ۱/۹۶، نشان‌دهنده سطح اطمینان ۹۵٪)، "p" نسبت تخمینی یک ویژگی است که در جامعه وجود دارد (برابر با ۰/۵)، 'q' برابر p -1 (برابر ۰/۵) و 'd' نسبت انحراف خطای مجاز از میانگین جامعه (برابر با ۰/۰۵) است.

روش تحلیل انرژی مصرفی

برای تحلیل انرژی مصرفی ابتدا اطلاعات مربوط به همه‌ی نهاده‌ها و ستانده‌ها در هر واحد گاوداری صنعتی برآورد و با توجه به تعداد گاو موجود در هر واحد، مقدار نهاده‌ها و ستانده‌ها به‌ازای هر راس گاو محاسبه شد. در ادامه برای تبدیل مقدار نهاده‌ها و ستانده‌ها به انرژی ورودی و خروجی، از ضرایب هم‌ارز انرژی که بیان‌کننده میزان محتوای انرژی نهاده‌ها و ستانده‌ها برای تولید محصول است، استفاده شد. پس از محاسبه مقدار انرژی ورودی و خروجی، شاخص‌های انرژی به‌ازای یک راس گاو شیری محاسبه شد. علاوه بر این مقدار کل انرژی ورودی (انرژی نهاده‌ها) به‌ازای تولید یک تن شیر نیز به‌دست آمد. دلیل انجام گردآوری داده‌ها به‌صورت مقدار نهاده‌ها به‌ازای یک تن شیر این بود که برای انجام ارزیابی‌های زیست‌محیطی با استفاده از نرم‌افزار سیماپرو، باید واحد کارکردی را براساس کیلوگرم یا تن بیان نمود و نرم‌افزار سیماپرو قادر است که اثرات زیست‌محیطی را به‌ازای یک مقدار مشخص از تولید انجام دهد. پس از برآورد مقدار انتشارات زیست‌محیطی بر حسب یک تن شیر در نرم‌افزار سیماپرو، این مقادیر به‌ازای یک گاو شیری تبدیل شد. لذا در این پژوهش شاخص‌های انرژی به‌ازای یک راس گاو شیری و اثرات زیست‌محیطی در ابتدا به‌ازای تولید یک تن شیر به‌دست آمد و سپس به مقدار اثرات زیست‌محیطی ایجاد شده به‌ازای یگ گاو شیری تبدیل شد. جدول ۲ هم‌ارز نهاده‌های ورودی و خروجی مورد استفاده در تحقیق حاضر را نشان داده است.

جدول ۲- هم‌ارز نهاده‌های ورودی و خروجی در واحدهای صنعتی پرورش گاو شیری در استان خوزستان

Table 2- Inputs and outputs Equivalent in industrial units of dairy cattle in Khuzestan province

عنوان Item	واحد Unit	هم‌ارز انرژی Energy equivalent (MJ Unit^{-1})	منبع Reference
		نهاده‌ها (Input)	
نیروی انسانی Human labor	h	1.96	Bilalis *et al.* (2013)
ماشین‌ها و تجهیزات Machinery and equipment	h	62.7	Canakci, Topakci, Akinci, & Ozmerzi (2005)
سوخت دیزل Diesel fuel	L	56.31	Kitani, Jungbluth, Peart, & Ramdani (1999); De, Singh, & Chandra (2001)
روغن (روغنکاری ماشین و تجهیزات) Oil (lubrication machine and equipment)	L	47.8	Hamedani, Rajabi, Shabani, & Rafiee (2011)
الکتریسیته Electricity	kWh	11.93	Ozkan, Akcaoz, & Fert (2004)
ذرت سیلویی Silo corn	kg	2.2	Yaldiz, Ozturk, Zeren, & Bascetincelik (1993)
کاه گندم Wheat straw	kg	1	Komleh, Omid, & Keyhani (2011)
یونجه Alfalfa	kg	1.5	Shortall & Barnes (2013)
کنسانتره Concentrate	kg	6.3	Komleh *et al.* (2011)
آب مصرفی Consumption of water	m^3	1.02	Karimi, RajabiPour, Tabatabaeefar, & Borghei (2008)
		ستانده‌ها (Output)	
شیر Milk	kg	7.14	Average studies
کود دامی Manure	kg	0.3	Celik & Oztürkcan (2003)

جدول ۳- شاخص‌های انرژی در ارزیابی الگوی مصرف انرژی در واحدهای گاوداری شیری

Table 3- Energy indicators for evaluating the energy consumption pattern in dairy farming units

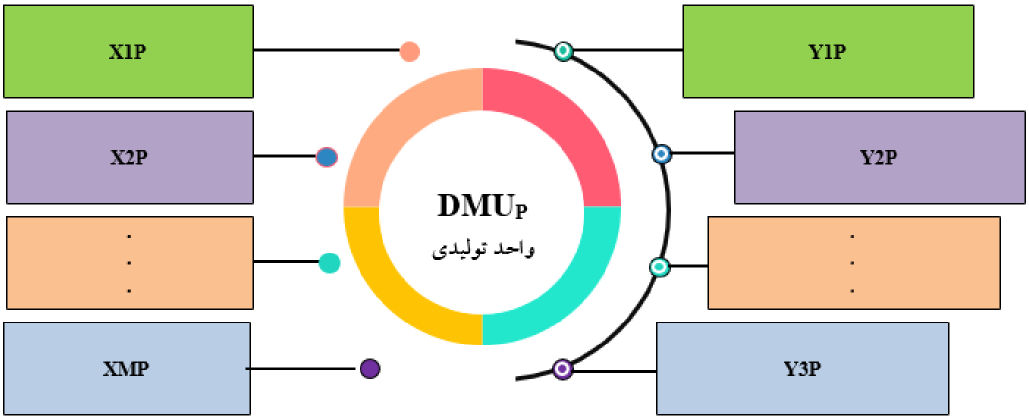
شاخص (Index)	واحد (Unit)	رابطه (Equation)	منبع (Reference)
نسبت انرژی Energy use efficiency	-	$\frac{\text{Output energy (MJ ha}^{-1})}{\text{Total input energy (MJ ha}^{-1})}$	Omid, Ghojabeige, Delshad, & Ahmadi, 2011
بهره‌وری انرژی Energy productivity	kg MJ^{-1}	$\frac{\text{Yield (kg ha}^{-1})}{\text{Total input energy (MJ ha}^{-1})}$	
شدت انرژی Specific Energy	MJ kg^{-1}	$\frac{\text{Total input energy (MJ ha}^{-1})}{\text{Yield (kg ha}^{-1})}$	
افزوده خالص انرژی Net energy	MJ ha^{-1}	Output energy (MJ ha^{-1}) - Total input energy (MJ ha^{-1})	

برای تعیین و تحلیل روابط بین انرژی ستانده و نهاده، از شاخص‌های انرژی شامل نسبت انرژی[1]، بهره‌وری انرژی[2]، شدت انرژی[3] و افزوده خالص انرژی[4] مطابق روابط جدول ۳ استفاده شد (Omid *et al.*, 2011).

1- Energy Ratio
2- Productivity Energy
3- Energy Specific
4- Net energy gain

تحلیل پوششی داده‌ها

به‌منظور انجام بهینه‌سازی وضعیت انتشارات زیست‌محیطی از روش تحلیل پوششی داده‌ها استفاده گردید. افزایش بیش از حد استفاده از نهاده‌های مصرفی در فرآیند تولید، نه تنها باعث کاهش میزان محصول خروجی و کارایی سیستم‌های تولیدی می‌شود، بلکه باعث کاهش سودآوری اقتصادی و افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای به هوا، خاک و آب می‌شود. با توجه به شکل ۱، در روش تحلیل پوششی داده‌ها هر واحد تصمیم‌گیری یک سازمان یا واحد منحصر به فرد است که در آن نهاده‌های ورودی از طریق انجام برخی فعالیت‌ها به خروجی سیستم تبدیل می‌شوند (Beiragh, Alizadeh, Beiragh, & Pamucar, 2021). هر واحد تصمیم‌گیری می‌تواند یک مزرعه، باغ، کارخانه و غیره باشد.



شکل ۱– واحدهای تصمیم‌گیری مختلف در تولید شیر

Fig.1. Decision-making units in milk production

در این پژوهش هر کدام از واحدهای تولیدی (هر کدام از گاوداری‌ها) به‌عنوان یک واحد تصمیم‌گیری[1] در نظر گرفته شد و کارایی واحدهای تولیدی براساس مدل‌های بازگشت به مقیاس و مدل بازگشت به مقیاس متغیر برای هر کدام از گاوداری‌ها تعیین شد (Huang, Shen, Sun, & Li, 2021). در این پژوهش شاخص کارایی فنی نیز محاسبه گردید. کارایی فنی یک شاخص است که کارایی هر واحد گاوداری را براساس مدل بازگشت به مقیاس محاسبه می‌کند. کارایی فنی یک عدد بین صفر و یک است. اگر میزان شاخص کارایی فنی برابر با یک باشد به معنی این است که سیستم تولیدی کارایی بسیار بالایی دارد. کارایی فنی از رابطه (۲) محاسبه شد (Singh, Singh, Sodhi, & Sharma, 2021).

$$\text{Efficiency}=\frac{u_1y_1^{j*}+u_2y_2^{j*}+\ldots+u_Ny_N^{j*}}{v_1x_1^{j*}+v_2x_2^{j*}+\ldots+v_Mx_M^{j*}} \quad (۲)$$

که در آن $u_1, u_2, \ldots, u_N$ وزن خروجی‌ها است، $y_1^{j*}, y_2^{j*}, \ldots, y_N^{j*}$ خروجی واحد تصمیم‌گیری j است. $v_1, v_2, \ldots, v_M$ وزن ورودی‌ها است. $x_1^{j*}, x_2^{j*}, \ldots, x_M^{j*}$ ورودی واحد تصمیم‌گیری j است. این معادله به‌صورت خطی به رابطه (۳) تبدیل شد (Charnes, Cooper, & Rhodes, 1978).

$$\max\theta=\sum_{n=1}^{N}u_ny_n^j \quad \text{subjected to} \quad \sum_{n=1}^{N}u_ny_n^j-\sum_{m=1}^{M}v_mx_m^j\le 0 \quad (۳)$$

$$\sum_{m=1}^{M}v_mx_m^j=1 \text{for all} j=1,2,\ldots,J$$

$$u_n\ge 0, v_m\ge 0 \text{for all} n=1,2,\ldots,N \text{ and } m=1,2,\ldots,M$$

در این روابط θ نشان‌دهنده‌ی کارایی فنی، N و M به‌ترتیب تعداد ورودی‌ها و خروجی‌ها، u_n و v_m ضرایب برای ورودی Nام و خروجی Mام است. کارایی فنی خالص با استفاده از روش بازگشت به مقیاس متغیر محاسبه می‌شود که به‌عنوان یک مسئله برنامه‌ریزی خطی باینری شناخته می‌شود (Huang *et al*., 2021; Khoshroo & Singh, 2021).

$$\max Z=uy_i-u_i \quad \text{subjected to } Vx_i=1 \quad (۴)$$
$$-vX+uY-u_0 e<0$$
$$Z \text{ and } u_0 \text{ are free-sign}$$

در این روابط Z و u_0 متغیرهای عددی و بی‌بعد هستند، u و v ماتریس‌های وزنی ورودی‌ها و خروجی‌ها هستند. Y و X ماتریس‌های

1- Decision-making unit (DMU)

خروجی و ورودی هستند. x_i و y_i خروجی و ورودی واحد تصمیم‌گیری lام می‌باشند. کارایی مقیاس از تقسیم کارایی مدل بازگشت به مقیاس ثابت به کارایی مدل بازگشت به مقیاس متغیر (رابطه ۵) محاسبه شد (Khoshroo & Singh, 2021).

$$SE^{1}=\frac{TE^{2}}{PTE^{3}} \quad (۵)$$

ارزیابی کارایی با مدل اندرسون پیترسون[۴]

تحلیل پوششی داده‌ها با بهره‌گیری از تکنیک برنامه‌ریزی خطی و بهینه‌سازی، جهت تعیین کارایی هر واحد استفاده شده و به‌منظور هدف‌گذاری در افزایش کارایی برای هر یک از واحدها، یک مجموعه مرجع برای واحد ناکارا تعیین و کارایی واحدهای مختلف را نسبت به مرز کارایی مقایسه می‌نماید. مدل‌های پایه‌ای تحلیل پوششی داده‌ها به دلیل عدم ایجاد رتبه‌های کامل بین واحدهای کارا، امکان مقایسهٔ واحدهای مزبور را به‌راحتی فراهم نمی‌آورند، زیرا در این مدل‌ها به همه‌ی واحدهای تصمیم‌گیرنده‌ی کارا امتیاز کارایی یک اختصاص می‌یابد، در صورتی‌که نیاز به رتبه‌بندی واحدهای کارا و حفظ میزان عدم کارایی واحدهای ناکارا اجتناب‌ناپذیر است. در ارزیابی به روش AP (اندرسون- پیترسون) واحد تحت بررسی از ارزیابی حذف می‌شود و این باعث می‌شود عدد اختصاص یافته واحدهای کارا در مدل رتبه‌بندی کامل AP (اندرسون- پیترسون) بزرگ‌تر مساوی یک شده و رتبه‌بندی بین واحدهای کارا هم صورت پذیرد. این روش ارزیابی داده‌ها برای تعیین واحدهای فوق کارا می‌باشد که در سال ۱۹۹۳ توسط اندرسون و پیترسون ارائه شده است. این روش کارآمدترین واحد تولیدی را مشخص می‌کند و امکان رتبه‌بندی تمام گاوداری‌های منطقه را میسر می‌سازد. به عبارتی الگوی مناسب مصرف نهاده‌ها را در اختیار بخش مدیریت قرار می‌دهد. مدل رتبه‌بندی اندرسون پیترسون به‌صورت رابطه (۶) تعریف شد (Hosseinzadeh Lotfi *et al.*, 2013).

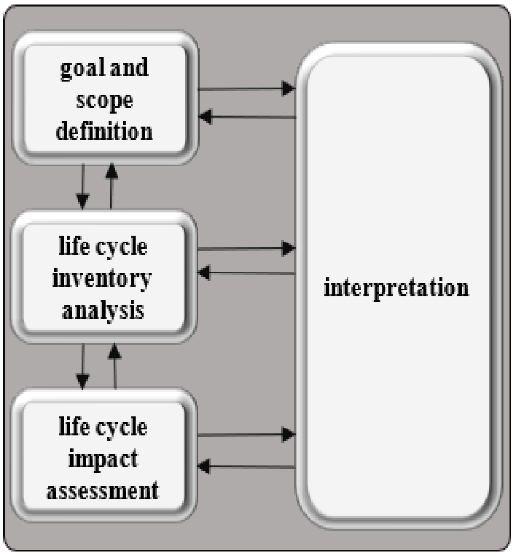
$$\text{Min } Y_0=\theta-\varepsilon\left(\sum_{r=1}^{s} s_r^{+}+\sum_{i=1}^{m} s_i^{-}\right)$$
$$St:$$
$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj}-s_r^{+}=y_{r0} \qquad (r=1,2,\ldots,s) \quad (۶)$$
$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij}+s_i^{-}=\theta x_{i0} \qquad (I=1,2,\ldots,m)$$
$$\lambda_j, s_r^{+}, s_i^{-}\geq 0 \qquad (j=1,2,\ldots,n)$$

که در آن s تعداد خروجی‌ها، m تعداد ورودی‌ها، n تعداد واحدها، ε یک مقدار بسیار کوچک، متغیر کمکی s_r^{+} کمبود در میزان تولید برای خروجی مشخص‌شده r را نشان داد و s_r^{-} متغیر کمکی دیگری بود که میزان ورودی i استفاده شده از آن را بیان کرد. در مدل رتبه‌بندی اندرسون- پیترسون، کارایی واحدهای کارا بزرگتر یا مساوی یک است و اصولاً رتبه‌بندی بین واحدهای کارآمد برای شناسایی بهترین واحدها انجام می‌شود.

ارزیابی اثرات زیست‌محیطی با استفاده از روش ارزیابی چرخه حیات

ارزیابی چرخه حیات یکی از روش‌های پذیرفته‌شده بین‌المللی برای بررسی اثرات زیست‌محیطی مرتبط با سامانه‌های تولید دامی است. این روش، اثرات زیست‌محیطی تمام فرآیندهای موجود در چرخه‌ی حیات یک فعالیت را ارزیابی می‌کند (Guinée & Lindeijer, 2002). به عبارتی دیگر ارزیابی چرخه حیات شامل بیان هدف، شناسایی ورودی و خروجی و سامانه‌ای برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی و تفسیر آن‌ها است و می‌توانند معیار مناسبی برای ارزیابی مسائل زیست‌محیطی مرتبط با تولید انواع محصولات کشاورزی باشد (Nabavi-Pelesaraei, Rafiee, Mohtasebi, Hosseinzadeh-Bandbafha, & Chau, 2019). راهنمایی‌های لازم برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی براساس روش ارزیابی چرخه حیات توسط ISO 14040 ارائه شده است (ISO, 2006). در این روش همه‌ی منابع و نهاده‌های ورودی به مزرعه و همچنین مقادیر آلاینده‌هایی که با استفاده از انواع مختلف ورودی‌ها به محیط‌زیست رهاسازی می‌شوند، براساس واحد مرجع در نظر گرفته می‌شود (Guinée & Lindeijer, 2002). مراحل اصلی ارزیابی چرخه حیات شامل تعریف هدف و دامنه، آنالیز فهرست یا موجودی، ارزیابی اثرات و تفسیر نتایج است که در شکل ۲ نشان داده شده است. تعریف هدف و دامنه شامل تعیین واحد کارکردی، انتخاب روش تخصیص و مرز سیستم است. در مرحله آنالیز فهرست تجزیه و تحلیل موجودی منابع مورد استفاده و انتشار گازهای گلخانه‌ای مربوط به هر فرآیند در تولید جمع‌آوری می‌شود. به این ترتیب برای هر محصول مصرف‌شده توسط یک واحد دامداری، یک موجودی چرخه حیات محاسبه می‌شود. در مرحله‌ی ارزیابی اثرات، منابع استفاده‌شده و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای موجود در چرخه حیات، به پیامدهای زیست‌محیطی برای هر دسته از اثرات ترجمه می‌شود و مرحله چهارم در ارزیابی چرخه حیات، تفسیر نتایج مرحله سوم می‌باشد (Nikkhah, Emadi, & Firouzi, 2015). این مراحل اغلب از این جهت با یکدیگر ارتباط متقابل دارند که نتایج یک مرحله می‌تواند مشخص کند که چگونه مراحل دیگر تکمیل می‌شوند.

1- SE= Scale efficiency
2- TE= Technical efficiency
3- PTE= Pure technical efficiency
4- Anderson & Peterson



شکل ۲– مراحل اصلی ارزیابی چرخه حیات

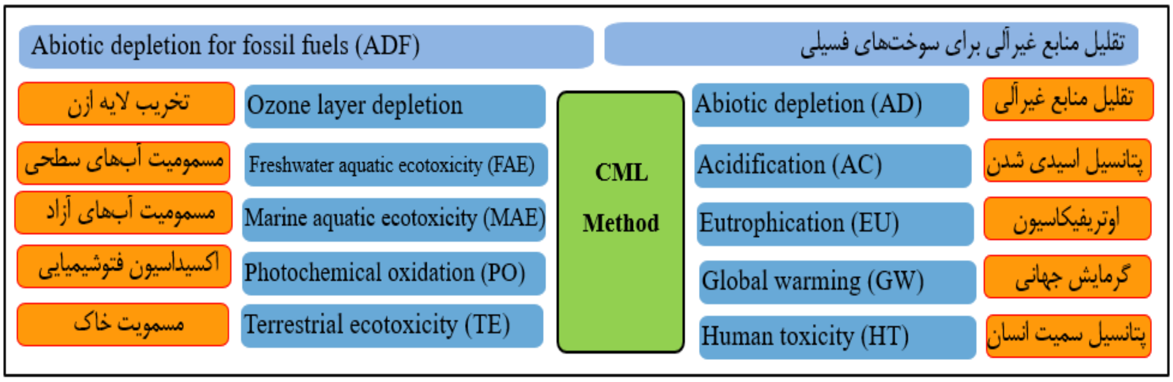
Fig.2. The main Phases of life cycle assessment methodology

روش مورد استفاده در ارزیابی چرخه حیات

روش‌های مختلفی مانند IMPACT 2002+, CML-IA V3.05، ReCePi2016، Eco-indicator99 و غیره برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی با روش چرخه حیات وجود دارد که براساس اهداف موردنظر پژوهش‌گر می‌توان از مدل‌های مختلف استفاده کرد (Rattanatum, Frauzem, Malakul, & Gani, 2018). روش ارزیابی چرخه حیات مورد استفاده در این پژوهش رویکرد پایه CML-IA V3.05 بود که اثرات زیست‌محیطی را در ۱۱ دسته مورد بررسی قرار می‌دهد (شکل ۳) (Chen, Habert, Bouzidi, Jullien, & Ventura, 2010).

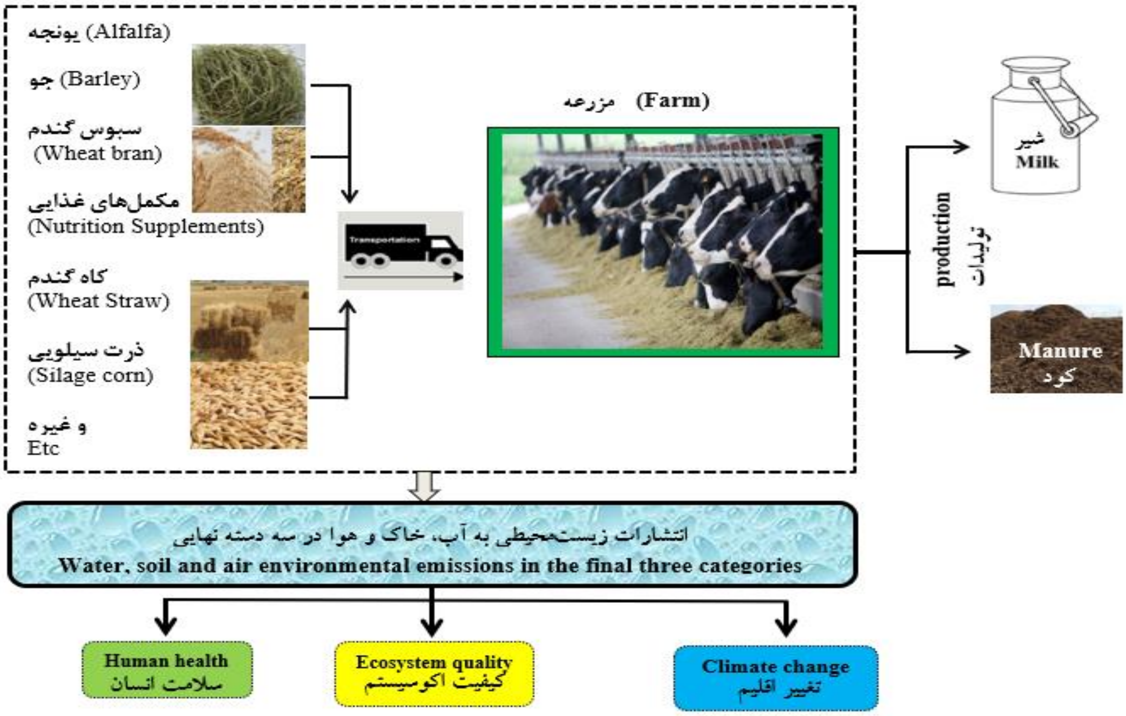
توصیف سیستم و سناریوی پایه در ارزیابی اثرات زیست‌محیطی

تولید لبنیات در واحدهای دامداری صنعتی استان خوزستان تحت سیستم بهره‌برداری بسته یا نیمه‌باز بوده و بر تغذیه از طریق تهیه خوراک و بدون چرای مستقیم متکی است. بر این اساس، مرز سیستم در مدل ارزیابی چرخه حیات تعریف گردید (شکل ۴).



شکل ۳– توزیع ۱۱ دسته اثرات زیست‌محیطی براساس روش CML-IA V3.05

Fig.3. Distribution of 11 categories of environmental impacts based on the CML-IA V3.05 method



شکل ٤- مرز سامانه در ارزیابی چرخه حیات واحدهای گاوداری صنعتی

Fig.4. System boundary in life cycle assessment in units of Industrial dairy units

در این سیستم نهاده‌های ورودی شامل خوراک دام (کنسانتره، یونجه، جو، مکمل‌های غذایی و غیره)، الکتریسیته، انواع سوخت، نیروی کارگری و غیره بود. خروجی‌ها نیز شامل شیر و کود دامی بود که واحد کارکردی در این مطالعه یک تن شیر و یک تن کود دامی تعریف شد. اطلاعات مربوط به عملکرد شیر، کود و میزان و ترکیب خوراک‌ها از هر واحد گاوداری صنعتی با استفاده از پرسش‌نامه گردآوری شد. با استفاده از روش ارزیابی چرخه حیات، اثرات زیست‌محیطی برای کلیه فرآیندها تا لحظه‌ای که شیر تولید شد، مورد ارزیابی قرار گرفت. با این حال مصرف سموم و داروها به‌دلیل عدم دسترسی دقیق به داده‌های معتبر و نیز تاثیر اندک آن‌ها از مطالعه حذف شدند. ساختمان‌ها نیز از این مطالعه حذف شدند، زیرا فرض شد که ساختمان‌ها در مزارع مختلف شبیه هم باشند (Erzinger, Dux, Zimmermann, & Badertscher Fawaz, 2004). انتشارات زیست‌محیطی به آب، خاک و هوا در طول فرآیند تولید محصولات دامی از گاوداری‌های شیری از طریق مصرف انواع نهاده‌ها اتفاق می‌افتد و باید در چرخه عمر شیر گنجانده شود. فاکتورهای زیست‌محیطی معمولا برای نشان دادن این انتشارات مورد استفاده قرار می‌گیرند و مقادیر آن‌ها معمولا بسته به محل، مرزهای سیستم و سایر عوامل، متفاوت است. ارزیابی چرخه حیات منابع، براساس پایگاه داده‌های بین‌المللی صورت گرفت (Ecoinvent, 2021). در این پژوهش انتشارات مستقیم به هوا و خاک ناشی از مصرف سوخت دیزل با استفاده از داده‌های ارائه‌شده در جدول ۴ در تجزیه و تحلیل داده‌ها به‌کار گرفته شد. در نهایت نیز همه داده‌های گردآوری‌شده با استفاده از نرم‌افزارهای اکسل و سیماپرو مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

در برخی از تحقیقات صورت گرفته در حوزه مدیریت منابع و تولید در گاوداری‌ها صرفا به بررسی و مطالعه‌ی جنبه‌هایی موردی از گاوداری‌ها پرداخته شده است. نوآوری این تحقیق در ارزیابی جامع واحدهای گاوداری صنعتی بود. این واحدها از نظر مصرف انرژی و اثرات زیست‌محیطی بررسی شدند و بعد از برآورد شاخص‌های انرژی و زیست‌محیطی، تحلیل پوششی داده‌ها به‌منظور تعیین کارایی در هر کدام از واحدهای تولیدی و بهینه‌سازی مصرف منابع صورت گرفت. یکی دیگر از نوآوری‌های این پژوهش استفاده از روش اندرسون- پیترسون برای ارزیابی واحدهای گاوداری صنعتی بود، زیرا مدل‌های پایه‌ای تحلیل پوششی داده‌ها به دلیل عدم ایجاد رتبه‌های کامل بین واحدهای کارا، امکان مقایسه واحدهای مزبور را به‌راحتی فراهم نمی‌آورند. ارزیابی به روش اندرسون- پیترسون کارآمدترین واحد تولیدی را مشخص می‌کند و امکان رتبه‌بندی تمام گاوداری‌های منطقه را میسر می‌سازد. لذا هدف از این پژوهش، انجام یک ارزیابی چندجانبه (انرژی، زیست‌محیطی و بهینه‌سازی با استفاده از روش اندرسون-پیترسون) بود.

نتایج و بحث

شاخص‌های انرژی

در جدول ۵ مقدار انرژی‌های ورودی به‌ازای هر راس گاو در روز نشان داده شده است.

شاخص‌های مصرف انرژی نیز بر همین اساس با استفاده از روابطی که در جدول ۳ بیان گردید، محاسبه شد. جدول ۶ نتایج محاسبه شاخص‌های انرژی را نشان داده است. نتایج محاسبه شاخص‌های انرژی نشان داد که انرژی ورودی برای یک راس گاو در روز برابر ۱۷۳/۳۴ مگاژول بود. کل انرژی خروجی حاصل از تولید شیر و کود به‌ازای هر راس گاو در روز ۱۶۶ مگاژول برآورد شد. خوراک دام با ۶۵/۴۷ درصد و روغن مصرفی برای روغن‌کاری تیلر (اسکریپر جمع‌آوری کود) با ۰/۰۱ درصد به‌ترتیب بیشترین و کمترین انرژی ورودی را به خود اختصاص دادند.

شکل ۵ سهم انرژی‌های مستقیم، غیرمستقیم، تجدیدپذیر، تجدیدناپذیر و سهم هر کدام از نهاده‌های ورودی را نشان داده است. سهم انرژی‌های تجدیدناپذیر (۶۸٪) به دلیل استفاده از نهاده‌هایی که به‌عنوان خوراک دام مصرف شدند نسبت به انرژی‌های تجدیدناپذیر بیشتر بود. خوراک دام با ۶۵٪ بیشترین مقدار انرژی ورودی را دارا بود. پس از خوراک دام الکتریسته با ۲۷٪ بیشترین انرژی ورودی را به خود اختصاص داد. مصرف بالای الکتریسته به دلیل استفاده زیاد واحدهای گاوداری از سامانه‌های مه‌پاش و فن‌ها در طول فصل گرم سال بود. قیمت پایین الکتریسته از دیگر دلایل مصرف بالای الکتریسته و کم‌توجهی تولیدکنندگان به مصرف بهینه آن در فرایند تولید بود. در پژوهشی خانلی و همکاران (Khanali, 2021) نیز بیان کردند که به دلیل قیمت پایین نهاده‌های انرژی‌بر و نبود سیاست‌های تشویقی و تنبیهی برای تولیدکنندگان، مصرف نهاده‌هایی مانند سوخت دیزل در فرآیند تولید محصولات کشاورزی در ایران زیاد است.

جدول ٤- ضرایب انتشارات ناشی از مصرف سوخت دیزل در مزارع گاوداری شیری

Table 4- Emission coefficients caused by the diesel fuel consumption in dairy farms

انتشارات زیست‌محیطی (Emission)	واحد (Unit)	مقدار Value ($kgMJ^{-1}$)
انتشارات از مصرف سوخت دیزل به هوا Emissions due to diesel fuel to air	kg	
کربن‌دی اکسید (Carbon dioxide (CO_2))	kg	74.5
سولفور دی‌اکسید (Sulfur dioxide (SO_2))	kg	2.41E-2
متان (Methane (CH_4))	kg	3.08E-3
بنزن (Benzene)	kg	1.74E-4
کادمیوم (Cadmium (Cd))	kg	2.39E-7
کروم (Chromium (Cr))	kg	1.19E-6
کاپر (Copper (Cu))	kg	4.06E-5
دی‌نیتروژن مونواکسید (Dinitrogen monoxide (N_2O))	kg	2.86E-3
نیکل (Nickel (Ni))	kg	1.67E-6
روی (Zink (Zn))	kg	2.39E-5
بنزو (Benzo (a) pyrene)	kg	7.16E-7
آمونیوم (Ammonia (NH_3))	kg	4.77E-4
سلنیوم (Selenium (Se))	kg	2.39E-7
نیتروژن اکسید (Nitrogen oxides (NOx))	kg	1.06
کربن مونواکسید (Carbon monoxide (CO))	kg	0.15
ذرات ریز (Particulates (b2.5 µm))	kg	0.107
انتشارات به خاک (Emissions to soil)	kg	
کادمیوم (Cadmium (Cd))	kg	3.98E-09
سرب (Lead (Pb))	kg	1.75E-08
روی (Zinc (Zn))	kg	1.07E-05

جدول ۵– مقادیر انرژی نهاده‌ها و ستانده به‌ازای هر راس گاو در روز

Table 5- Energy values of inputs and outputs per cow per day

عنوان Item	واحد Unit	مقدار نهاده و ستانده The amount of input and output	مقدار انرژی Energy value	درصد Percentage
نهاده‌ها (Inputs)				
نیروی انسانی (Human labor)	h	1.86	3.66	2.1
ماشین‌ها و تجهیزات (Machinery and equipment)	h	0.04	2.77	1.6
سوخت دیزل (Diesel fuel)	L	0.10	5.53	3.1
روغن (روغنکاری ماشین و تجهیزات Oil (lubrication machine and equipment)	L	0.01	0.25	0.01
الکتریسیته (Electricity)	kWh	3.96	47.20	27.2
آب مصرفی (Consumption of water)	M^3	0.43	0.44	0.2
خوراک دام (Animal feed)	kg	75.66	113.49	65.4
کل انرژی ورودی (Total input energy)	MJ	-	173.34	100
ستانده‌ها (Outputs)				
شیر (Milk)	kg	23.06	164.62	0.99
کود (Manure)	kg	5.02	1.51	0.01
کل انرژی خروجی (Total output energy)	MJ	-	166	100

جدول ٦– نتایج ارزیابی شاخص‌های انرژی به‌ازای یک راس گاو شیری در روز

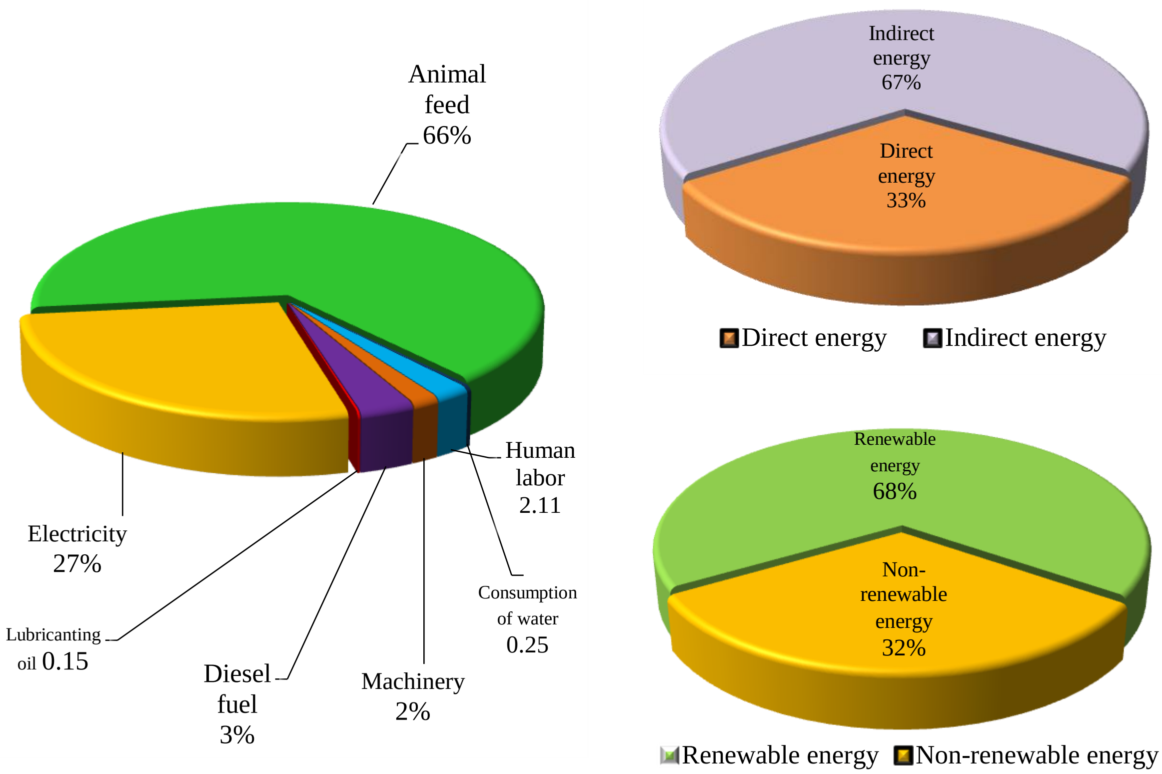
Table 6- Results of evaluation of energy indices per dairy cow per day

شاخص‌های انرژی (Energy indicators)	واحد (Unit)	مقدار (Amount)	درصد (Percentage)
کارایی انرژی (Energy efficiency)	–	0.95	–
انرژی خالص (Net energy)	MJ	-7.20	–
شدت انرژی (Specific Energy)	MJ kg^{-1}	7.51	–
بهره‌وری انرژی (Energy productivity)	kg MJ^{-1}	0.13	–
انرژی مستقیم (Direct energy)	MJ kg^{-1}	56.64	33%
انرژی غیرمستقیم (Indirect energy)	MJ kg^{-1}	116.70	67%
انرژی تجدیدپذیر (Renewable energy)	MJ kg^{-1}	117.59	68%
انرژی تجدیدناپذیر (Non-renewable energy)	MJ kg^{-1}	55.74	32%

با توجه به بالا بودن طول دوره گرما در استان خوزستان و از طرفی بالا بودن شار تابش خورشید، استفاده از صفحات خورشیدی برای تامین برق مورد نیاز واحدهای گاوداری می‌تواند ضمن کاهش مصرف الکتریسته، سبب کاهش مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر شود. با توجه به امکان نصب صفحات خورشیدی روی بام سایبان‌های محل نگهداری دام، کاربرد این سیستم ضمن صرفه‌جویی در فضای مورد نیاز برای نصب صفحات خورشیدی و تولید انرژی تجدیدپذیر، ممکن است شدت تابش در زیر سقف محل نگهداری دام را نیز کاهش دهد، که در این راستا انجام تحقیقات می‌تواند اطلاعات لازم برای تصمیم‌گیری در این زمینه را فراهم کند.

در پژوهشی، محققان بیان کردند که بیشترین هزینه در واحدهای گاوداری شیری مربوط به هزینه خوراک است و ۶۲ درصد از هزینه‌های متغیر تولید را به خود اختصاص می‌دهد. آن‌ها پیشنهاد کردند که دامداران گاوداری‌های شیری برای دستیابی به سود بیشتر یا باید هزینه‌های خوراک را به حداقل برسانند یا نرخ تبدیل خوراک را افزایش دهند (Kumbar, 2015). رفیعی و همکاران (Rafiee, Khoshnevisan, Mohammadi, Aghbashlo, & Clark, 2016) نیز با ارزیابی جنبه‌های زیست‌محیطی تولید شیر پاستوریزه در ایران با استفاده از رویکرد چرخه حیات بیان کردند که مرحله‌ی تولید خوراک دام مهم‌ترین بخش از نظر مصرف انرژی، انتشارات زیست‌محیطی و

هزینه‌های اقتصادی در تولید شیر است. این محققان بیان کردند که بیشترین سهم از کل هزینه‌های تولید شیر مربوط به خوراک دام (۴۳٪) بود. بیشترین انرژی ورودی در تولید شیر خام مربوط به نهاده‌های یونجه (۳۰/۳٪)، کنسانتره (۲۴٪)، کاه (۱۷/۸٪) و ذرت (۱۰/۹٪) برآورد شد. همچنین پتانسیل گرمایش جهانی برای تولید ۱۰۰۰ کیلوگرم شیر خام معادل ۴۵۷ کیلوگرم کربن دی‌اکسید گزارش شد. این محققان بیان کردند که بیش از ۶۹٪ از کل اثرات زیست‌محیطی در بخش فرآوری شیر ناشی از دو زیر سیستم تولید خوراک و مزارع پروش دام شیری بود و مرحله تولید خوراک بیشترین بخش از انتشارات زیست‌محیطی را به خود اختصاص داد.



شکل ۵– سهم انرژی‌های مستقیم، غیرمستقیم، تجدیدپذیر، تجدیدناپذیر و نهاده‌های ورودی به‌ازای یک گاو شیری

Fig.5. Share of direct, indirect, renewable, non-renewable energy, and inputs per dairy cow

نتایج حاصل از تحلیل اندرسون- پترسون در مطالعه حاضر نشان داد که از بین واحدهای گاوداری مورد بررسی، گاوداری شماره ۲۲ بیشترین کارایی را دارد. این واحد می‌تواند الگویی جهت افزایش کارایی دیگر واحدهای تولیدی در استان خوزستان باشد. میزان انرژی مصرفی در این واحد تولیدی مربوط به نیروی انسانی، ماشین‌آلات و تجهیزات مورد استفاده، سوخت دیزل، روغن مورد استفاده در تجهیزات، الکتریسیته، خوراک دام و آب به‌ترتیب برابر با ۴/۱۶، ۰/۷۸۷، ۵/۳۵، ۰/۰۵، ۲۹/۸۳، ۱۱۰/۹۰، ۰/۴۱ به‌ازای هر راس دام در روز بود. در بررسی واحدهای گاوداری با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها، تعداد واحدهای کارا با استفاده از مدل بازگشت به مقیاس ثابت ۷ واحد تعیین شد. این روش بهینه‌سازی نشان داد که میانگین واحدهای تولید از نظر کارایی ۰/۷۸ می‌باشد. این در حالی است که در مدل بازگشت به مقیاس متغیر تعداد ۲۰ واحد تولیدی با کارایی قوی وجود داشت. میانگین کارایی مقیاس نیز که از تقسیم کارایی فنی و کارایی فنی خالص محاسبه گردید برابر با ۰/۷۸ محاسبه شد. در پژوهش حاضر تعداد ۷ واحد گاوداری دارای کارایی مقیاس قوی بودند. کارایی با چگونگی عملکرد یک واحد اقتصادی در فرآیند تولید سر و کار دارد. به عبارتی کارایی میانگین چگونگی عملکرد اجزا در فرآیند تولید و ترکیب بهینه آن‌ها در جریان رسیدن به حداکثر میزان تولید است. به‌عنوان مثال اگر با یک واحد تولیدی سر و کار داشته باشیم که از یک سطح سرمایه و نیروی کار در تکنولوژی ثابتی به تولید کالا یا خدمات می‌پردازد، تولید زمانی کارا است که بتوان بهترین استفاده را از میزان نیروی کار و سرمایه در دسترس به‌منظور دستیابی به تولید داشت، به‌نحوی که نتوان با این امکانات در

دسترس، تولید را از نظر فنی افزایش داد یا این‌که نتوان با جایگزینی سرمایه و کار به طوری‌که هزینه تولید افزایش نیابد، تولید را افزایش داد. کارایی یک عدد بین صفر و یک است و هرچه میزان آن به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده مدیریت بهتر نهاده‌های مصرفی در فرایند تولید است. همچنین واحدهای کارا واحدهایی هستند که عدد کارایی آن‌ها برابر با یک محاسبه شده است. جدول ۷ میزان مصرف انرژی هر کدام از نهاده‌های ورودی قبل و بعد از بهینه‌سازی با استفاده از روش‌های مدل بازگشت به مقیاس ثابت و مدل بازگشت به مقیاس متغیر را نشان داده است.

جدول ۷- بهینه‌سازی انرژی مصرفی با استفاده از روش‌های بازگشت به مقیاس متغیر و مدل بازگشت به مقیاس ثابت برای نهاده‌های ورودی

Table 7- Optimization of energy consumption using VRS and CRS methods for inputs

نهاده‌ها/ستانده‌ها Input/ Output	مصرف انرژی Energy consumption (cow per day)	بهینه‌سازی بعد از روش بازگشت به مقیاس متغیر Optimization after the VRS method		بهینه‌سازی بعد از روش بازگشت به مقیاس ثابت Optimization after the CRS method	
نیروی انسانی Human labor	3.66	3.09	15.58	3.15	14.05
ماشین‌ها و تجهیزات Machinery and equipment	2.76	2.51	9.23	2.43	12.07
سوخت دیزل Diesel fuel	5.53	5.04	8.75	4.59	16.88
روغن Oil (lubrication machine and equipment)	0.25	0.23	8.66	0.21	15.48
الکتریسیته Electricity	47.20	43.70	7.41	35.13	25.56
آب مصرفی Consumption of water	0.44	0.42	5.02	0.40	8.73
خوراک دام Animal feed	113.49	110.02	3.06	100.15	11.57

مدل CCR[1] یکی از مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها است. در این مدل مجموعه‌ای به‌صورت T= {x,y} که در آن ورودی یا ورودی‌ها x هستند، منجر به تولیدی خروجی y می‌شوند. این مجموعه را مجموعه امکان تولید می‌نامند. این الگو دارای بازده ثابت به مقیاس است و سعی دارد با انتخاب وزن‌های بهینه برای متغیرهای ورودی و خروجی واحد تحت بررسی، کسر کارایی این واحد (واحد صفر) را به گونه‌ای بیشتر کند که کارایی سایر واحدها از حد بالای یک تجاوز نکند. مدل BCC[2] مدل دیگری از تحلیل پوششی داده‌ها است که برای تحلیل و بررسی مفهوم کارایی در تحلیل پوششی داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مدل هم دارای ماهیت ورودی و هم دارای ماهیت خروجی است. در این مدل ماکزیمم فاصله‌ی واحد تصمیم‌گیرنده از مرز کارایی سنجیده می‌شود. به‌طور کلی همیشه مدل CCR تعداد واحدهای کارا را کمتر از مدل BCC نشان می‌دهد. هیچ‌گونه الزام و یا دستورالعملی مبنی بر برتری هر یک از دو روش ذکر شده وجود ندارد و بخش مدیریت بسته به صلاح‌دید می‌تواند براساس هر یک از دو روش ارائه شده عمل نماید.

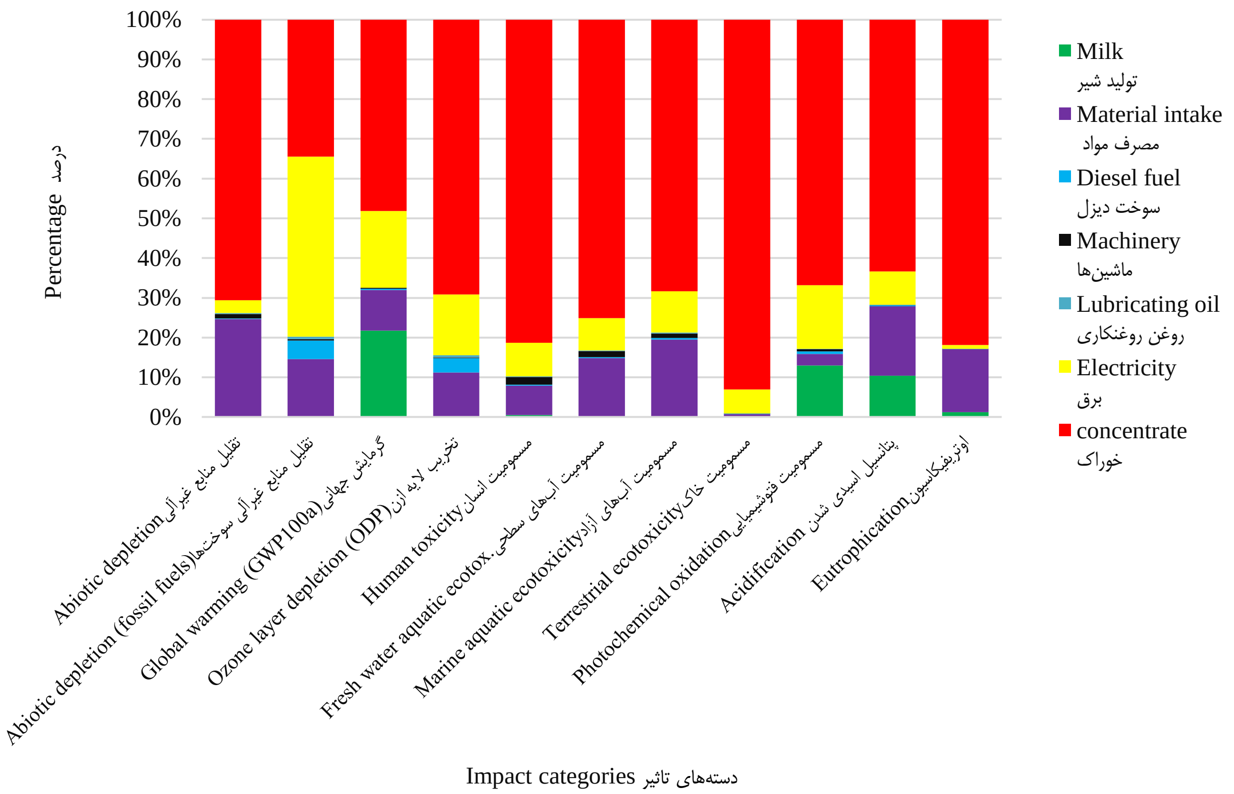
شاخص‌های زیست‌محیطی و بهینه‌سازی

شکل ۶ انتشارات زیست‌محیطی در سامانه‌ی تولید به‌ازای هر راس گاو در روز را در ۱۱ گروه تاثیر نشان داده است. نتایج نشان داد در همه‌ی گروه‌های تاثیر، غیر از پتانسیل تقلیل منابع غیرآلی مربوط به سوخت‌های فسیلی، خوراک دام بیشترین انتشارات زیست‌محیطی را دارا بود. در گروه تاثیر پتانسیل تخلیه غیر زنده، خوراک دام، ماشین‌ها و تجهیزات دامداری بالاترین تاثیر زیست‌محیطی را دارا بودند. پتانسیل تخلیه غیرزنده عاملی است که به معیار استفاده از منابع تجدیدناپذیر مانند سوخت‌های فسیلی و مواد معدنی برای تولید انرژی اشاره دارد. این شاخص بر حسب کیلوگرم معادل آنتیموان (Sb) اندازه‌گیری می‌شود (Attia, 2018). در گروه پتانسیل تخلیه غیرزنده مربوط به سوخت‌های فسیلی، الکتریسیته دارای بالاترین تاثیر بود. این موضوع بیان‌کننده مصرف منابع فسیلی می‌باشد که جهت تولید

1- Charnes, Cooper, and Rhodes (CCR)
2- Banker, Charnes, and Cooper (BCC)

الکتریسیته به‌کار می‌رود. تولید انرژی الکتریسیته از پنل‌های خورشیدی و تولید انرژی تجدیدپذیر می‌تواند نقش موثری در کاهش این گروه از اثرات زیست‌محیطی داشته باشد. نتایج تحقیق رمدانی و همکاران (Ramedani, Abdi, Omid, & Maysami, 2018) در مطالعه گاوداری‌های شیری استان کرمانشاه نشان داد که خوراک دام با ۴۵/۱۲٪ بیشترین و ماشین‌های کشاورزی با ۰/۹۲ مگاژول در ماه کمترین مقدار انرژی ورودی را داشتند. این محققان بیان کردند که بیشترین میزان انرژی ورودی به‌ترتیب مربوط مصرف انرژی توسط بویلرها و تراکتورها بود. نتایج نشان داد که مقدار انتشار کربن دی‌اکسید به‌ازای تولید ۱ کیلوگرم شیر در فصل سرد سال معادل ۲/۷۱ کیلوگرم کربن‌دی اکسید بود. واتوکس و همکاران (Wattiaux *et al.*, 2019) بیان کردند که اتخاذ بهترین شیوه‌های مدیریت تغذیه دام ممکن است باعث کاهش قابل‌توجه تولید گازهای گلخانه‌ای شود. آن‌ها بیان کردند که روش‌های مدل‌سازی و ارزیابی باید بهبود یابد تا بتواند به تعامل بین اجزای سیستم در فرایند تولید شیر کمک کند. در پژوهشی بتینی و همکاران (Battini *et al.*, 2016) چهار سیستم تولید شیر در ایتالیا را مقایسه کردند. نتایج نشان داد که افزایش تولید شیر در مزارع منجر به کاهش تاثیرات زیست‌محیطی در گروه‌های تاثیر مسمومیت دریایی، مسمومیت آب‌های شیرین، تخریب تنوع زیستی و از تصرف اراضی به‌ازای هر کیلوگرم شیر می‌شود. در پژوهشی دیگر شاخص‌های انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در واحدهای پرورش گاو شیری در استان تهران مورد بررسی قرار گرفت. میزان کل انرژی‌های ورودی و کارایی انرژی به‌ترتیب ۵۳۱۰۱/۹۹ مگاژول به‌ازای هر راس گاو و ۱/۱۵ گزارش شد. بیش‌ترین نهاده انرژی مصرفی، نهاده خوراک دام و بعد از آن سوخت دیزل بود. این دو نهاده بیش‌ترین انتشار گازهای گلخانه‌ای را با سهمی حدود ۷۲ درصد داشتند و سهم الکتریسیته در میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای حدود ۲۲ درصد گزارش شد (Sefidpari, Rafiei, & Akram, 2012). در بررسی ۱۸ واحد دامداری در جنوب کشور آلمان که مبتنی بر سه سناریو تحت عناوین تولید لبنیات با سیستم فشرده، سیستم توسعه داده شده و سیستم تولید ارگانیک تقسیم‌بندی شدند، نتایج نشان داد که بیش‌ترین میزان مصرف انرژی در واحد سطح و برای هر واحد محصول، مربوط به سیستم اول (سیستم تولید فشرده) بود. بالاترین پتانسیل گرمایش جهانی در واحد سطح و واحد تولیدی در سیستم دوم (سیستم توسعه‌یافته) و بالاترین میزان اسیدی شدن در واحد سطح مزرعه مربوط به سیستم سوم (سیستم تولید ارگانیک) بود (Haas *et al.*, 2001). بررسی تحقیقات انجام‌شده نشان می‌دهد که تشدید اثرات زیست‌محیطی در دامداری‌ها در مطالعات مختلف، بسته به نوع تاثیر زیست‌محیطی در نظر گرفته شده، واحد عملکردی مورد استفاده و سیستم تولیدی مورد بررسی، متفاوت است. اغلب مطالعاتی که با استفاده از کاربردهای مشخص انجام شده، نشان می‌دهد که استفاده‌ی بیش‌تر از منابع، منجر به افزایش اثرات زیست‌محیطی در واحد سطح می‌شود (Jan *et al.*, 2019). در جدول ۸ نتایج بهینه‌سازی شاخص‌های زیست‌محیطی در ۱۱ گروه تاثیر با استفاده از روش‌های بازگشت به مقیاس ثابت و بازگشت به مقیاس متغیر در مطالعه‌ی حاضر نشان داده شده است.

در پژوهشی که به بررسی کارایی فنی و کارایی زیست‌محیطی گاوداری‌های شیری شهرستان سراب پرداخته شد، نتایج نشان داد که گاوداری‌هایی که کارایی بالاتری دارند، آلایندگی‌های کمتری تولید کرده و از لحاظ زیست‌محیطی نیز وضعیت بهتری دارند. همچنین نتایج نشان داد که سطح تحصیلات تولیدکننده، عملکرد شیر هر راس گاو و سن آن، از عوامل موثر بر کارایی زیست‌محیطی گاوداری‌ها بودند (Molaei & Thani, 2015). در پژوهشی سلطانعلی و همکاران (Soltanali, Emadi, Rohani, Khojastehpour, & Nikkhah, 2015) با بررسی اثرات زیست‌محیطی تولید شیر در استان گیلان، انتشارات زیست‌محیطی را در پنج دسته‌ی گرمایش جهانی، اسیدی شدن، اوتروفیکاسیون، اکسیداسیون فتوشیمیایی و کاهش منابع به‌ازای تولید یک تن شیر مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که شاخص مشخصه برای این دسته‌های تاثیر به‌ترتیب ۱۸۳۱ کیلوگرم معادل کربن دی‌اکسید، ۷/۹۷ کیلوگرم معادل دی اکسید گوگرد، ۳/۴۲ کیلوگرم معادل فسفات، ۰/۲۱ کیلوگرم معادل اتیلن و ۸۳۸/۳۹ مگاژول انرژی بود. همچنین گزارش شد که بیشترین پتانسیل برای ایجاد اثرات زیست‌محیطی به‌ترتیب مربوط به اسیدی شدن و گرمایش جهانی بود. میزان انتشارات مستقیم به‌ازای هر راس گاو در روز در جدول ۹ بیان شد.



شکل ٦– انتشارات زیست‌محیطی از سامانه تولید در ۱۱ گروه تاثیر

Fig.6. Environmental publications from the production system in the 11 impact groups

جدول ۸– بهینه‌سازی شاخص‌های زیست‌محیطی در ۱۱ گروه تاثیر با استفاده از روش‌های بازگشت به مقیاس ثابت و بازگشت به مقیاس متغیر برای اثرات زیست‌محیطی

Table 8- Optimization of environmental indicators in 11 impact groups using VRS and CRS methods for environmental impacts

دسته‌های تاثیر **Impact group**	واحد **Unit**	وضعیت کنونی واحدهای تولیدی **Current status of production units**		بعد از بهینه‌سازی با روش بازگشت به مقیاس متغیر **After optimization by VRS method**		بعد از بهینه‌سازی با روش بازگشت به مقیاس ثابت **After optimization by CRS method**	
		نرمال‌شده Normalized	تعیین‌شده Characterized	نرمال‌شده Normalized	تعیین‌شده Characterized	نرمال‌شده Normalized	تعیین‌شده Characterized
Abiotic depletion	kg Sb eq	5.0084E-12	8.68008E-07	4.8166E-12	8.34765E-07	4.39343E-12	7.61427E-07
Global warming potential	kg CO_2 eq	1.14331E-12	4.0542787	1.07791E-12	3.82239142	9.32832E-13	3.307914269
Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq	2.43285E-12	0.627022298	2.29265E-12	0.590889736	2.02734E-12	0.522510138
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	2.35809E-14	2.42602E-08	2.25304E-14	2.31794E-08	2.02413E-14	2.08244E-08
Freshwater aquatic	kg 1,4-DB eq	5.62596E-13	0.105950207	5.39512E-13	0.101602958	4.89028E-13	0.092095694
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	6.30071E-12	0.047373757	6.04598E-12	0.045458478	5.48303E-12	0.041225776
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DBeq	4.27705E-11	136.2117696	4.10079E-11	130.5983015	3.70821E-11	118.095708
Photochemical oxidation	kg C_2H_4 eq	1.92565E-12	0.001766652	1.85144E-12	0.00169857	1.68211E-12	0.001543218
Acidification	kg SO_2eq	8.44675E-13	0.000153857	8.03866E-13	0.000146424	7.10954E-13	0.0001295
Eutrophication	kg $P^{-3}{}_4$	9.70923E-12	0.00651626	9.28261E-12	0.006229942	8.32228E-12	0.005585424

جدول ۹- میزان انتشارات مستقیم به‌ازای هر راس گاو در روز
Table 9- Direct emissions per cow per day

انتشارات مستقیم Direct emission	سوخت دیزل Diesel fuel			نیروی انسانی Human labor			الکتریسیته Electricity			کل Total		
Emission to air and soil	**Current status of production units**	**After optimization by VRS method**	**After optimization by CRS method**	**Current status of production units**	**After optimization by VRS method**	**After optimization by CRS method**	**Current status of production units**	**After optimization by VRS method**	**After optimization by CRS method**	**Current status of production units**	**After optimization by VRS method**	**After optimization by CRS method**
1. Carbon dioxide (CO_2) کربن دی‌اکسید	0.41111931	0.373363455	0.339802695	0.987	0.833	0.847	0.0106812	2.1228	1.7052	3.69259931	3.329163455	2.892002695
2. Sulfur dioxide (SO_2) سولفور دی‌اکسید	0.000132993	0.000120779	0.000109923					0.009882	0.007938	0.010814193	0.010002779	0.008047923
3. Methane (CH_4) متان	1.69966E-05	1.54357E-05	1.40482E-05							1.69966E-05	1.54357E-05	1.40482E-05
4. Cadmium (Cd) کادمیوم	1.31889E-09	1.19777E-09	1.09011E-09							1.31889E-09	1.19777E-09	1.09011E-09
5. Chromium (Cr) کرومیوم	6.56687E-09	5.96379E-09	5.42772E-09							6.56687E-09	5.96379E-09	5.42772E-09
6. Copper (Cu) کاپر	2.24046E-07	2.03471E-07	1.85181E-07							2.24046E-07	2.03471E-07	1.85181E-07
7. Dinitrogen monoxide (N_2O) دی‌نیتروژن مونواکسید	1.57826E-05	1.43331E-05	1.30448E-05							1.57826E-05	1.43331E-05	1.30448E-05
8. Nickel (Ni) نیکل	9.21569E-09	8.36936E-09	7.61705E-09							9.21569E-09	8.36936E-09	7.61705E-09
9. Benzo (a) pyrene بنزو	1.31889E-07	1.19777E-07	1.09011E-07				0.00003956			1.31889E-07	1.19777E-07	1.09011E-07
10. Ammonia (NH3) آمونیاک	3.95116E-09	3.5883E-09	3.26575E-09					0.0000366	0.0000294	3.9564E-05	3.66036E-05	2.94033E-05
11. Selenium (Se) سلنیوم	2.63227E-06	2.39053E-06	2.17565E-06							2.63227E-06	2.39053E-06	2.17565E-06
12. PAH (polycyclic hydrocarbons) هیدروکربن های چند حلقه ای	1.31889E-09	1.19777E-09	1.09011E-09				0.00478676			1.31889E-09	1.19777E-09	1.09011E-09
13. Nitrogen oxides (NOx) اکسید نیتروژن	0.005849483	0.005312285	0.004834777					0.0044286	0.0035574	0.010636243	0.009740885	0.008392177

14. Carbon monoxide (CO) مونواکسید کربن	0.000827757	0.000751739	0.000684167		0.000827757	0.000751739	0.000684167
15. Particulates (b2.5 µm) ذرات	0.000590467	0.00053624	0.000488039	0.0106812	0.000590467	0.00053624	0.000488039
				Emission to the soil انتشارات به خاک			
Cadmium (Cd) کادمیوم	2.20E-11	1.99E-11	1.82E-11		2.20E-11	1.99E-11	1.82E-11
Lead (Pb) سرب	9.66E-11	8.77E-11	7.98E-11		9.66E-11	8.77E-11	7.98E-11
Zinc (Zn) روی	5.90E-08	5.36E-08	4.88E-08		5.90E-08	5.36E-08	4.88E-08

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که نهاده‌های خوراک دام، الکتریسیته و سوخت دیزل بیشترین سهم از انرژی ورودی را دارا بودند. سهم انرژی‌های تجدیدناپذیر (۶۸٪) به دلیل استفاده از نهاده‌هایی که به‌عنوان خوراک دام مصرف شدند نسبت به انرژی‌های تجدیدناپذیر بیشتر بود. مصرف بالای الکتریسته به دلیل استفاده زیاد واحدهای گاوداری از سامانه‌های مه‌پاش و فن‌ها در طول فصل گرم سال بود. نسبت انرژی ۰/۹۵ و بهره‌وری انرژی ۰/۱۳ کیلوگرم بر مگاژول محاسبه شد. نتایج نشان داد در همه‌ی گروه‌های اثر، غیر از پتانسیل تقلیل منابع غیر آلی مربوط به سوخت‌های فسیلی، خوراک دام بیشترین انتشارات زیست‌محیطی را داشت. در گروه تاثیر پتانسیل تقلیل منابع غیرآلی، خوراک دام، ماشین‌ها و تجهیزات دامداری بالاترین اثرات زیست‌محیطی را دارا بودند.

پیشنهادات

- با توجه به مصرف زیاد الکتریسیته (۲۷٪ از انرژی ورودی) در واحدهای گاوداری به‌دلیل استفاده از سیستم فن و مه‌پاش در فصول گرم سال و از طرفی طولانی بودن طول دوره گرما و شار تابشی زیاد خورشید در استان خوزستان، پیشنهاد می‌شود از صفحات خورشیدی برای تامین انرژی مورد نیاز فن‌ها و سیستم مه‌پاش استفاده شود.
- اثر نصب صفحات خورشیدی روی سقف واحدهای گاوداری بر تغییرات دمایی زیر سقف دامداری‌ها در منطقه مورد مطالعه، بررسی شود.
- استفاده از دستگاه‌های تولید بیوگاز در واحدهای گاوداری برای تامین بخشی از انرژی می‌تواند راهکار مناسبی برای تامین انرژی مورد نیاز باشد.
- از آن‌جا که مقدار انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی به ترکیب نوع و مقدار نهاده‌های ورودی و همچنین مدیریت آن‌ها بستگی دارد، پیشنهاد می‌شود با مدیریت صحیح تولید از جمله بهبود کیفیت جیره غذایی، اصلاح نژاد دام‌ها و غیره در واحدهای گاوداری، ضمن کارآمد کردن تولید، انتشارات زیست‌محیطی به‌ازای شیر تولیدی کاهش داده شود.

سپاسگزاری

داده‌های این مقاله برگرفته از طرح تحقیقاتی شماره ۹۸۱/۴۶ است. بدین‌وسیله از معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان برای تامین بخشی از هزینه‌های انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

References

1. Anonymous. (2017). Economic, social and cultural report of Khuzestan province. *Management and Planning Organization of Khuzestan Province*, *2*(1), 251. (In Persian).
2. Anonymous. (2020). Khuzestan Agricultural Jihad Organization, Khuzestan Databases, Khuzestan Agricultural Statistics, Livestock Products Statistics 2020: 5. (In Persian).
3. Anonymous. (2021a). Management and Planning Organization of Khuzestan Province, Deputy of Statistics and Information, Statistical Yearbook of Khuzestan Province, Agriculture, Forestry and Fisheries 217-206. (In Persian).
4. Anonymous. (2021b). Program & Budget Organization. Statistics Center of Iran, Agricultural Statistics System, Agricultural Office, Deputy of Statistical Plans and Registration Statistics 18-19. (In Persian).
5. Anzai, H., Wang, L., Oishi, K., Irbis, C., Li, K., Kumagai, H., Inamura, T., & Hirooka, H. (2016). Estimation of nitrogen and phosphorus flows in livestock production in D ianchi L ake basin, C hina. *Animal Science Journal*, *87*(1), 37-45. https://doi.org/10.1111/asj.12390
6. Attia, S. (2018). *Net zero energy buildings (nzeb)*. Concepts Frameworks and Roadmap for Project Analysis and Implementation. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812461-1.00012-5
7. Audsley, E., Alber, S., Clift, R., Cowell, S., Crettaz, P., Gaillard, G., Hausheer, J., Jolliet, O., Kleijn, R., Mortensen, B., & Pearce, D. (1997). Harmonisation of environmental life cycle assessment for agriculture. Final Report, Concerted Action AIR3-CT94-2028. *European Commission, DG VI Agriculture*, *139*(1).
8. Basset-Mens, C., Ledgard, S., & Boyes, M. (2009). Eco-efficiency of intensification scenarios for milk production in New Zealand. *Ecological Economics*, *68*(6), 1615-1625. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.11.017
9. Battini, F., Agostini, A., Tabaglio, V., & Amaducci, S. (2016). Environmental impacts of different dairy farming systems in the Po Valley. *Journal of Cleaner Production*, *112*, 91-102. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.062
10. Beiragh, R. G., Alizadeh, R., Beiragh, M. G., & Pamucar, D. (2021). Energy production efficiency assessment using network data envelopment analysis. *Research Square* (preprint). https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-173973/v1

11. Bhatta, R., Saravanan, M., Baruah, L., & Prasad, C. S. (2015). Effects of graded levels of tannin-containing tropical tree leaves on in vitro rumen fermentation, total protozoa and methane production. *Journal of Applied Microbiology*, *118*(3), 557-564. https://doi.org/10.1111/jam.12723
12. Bilalis, D., Kamariari, P. E., Karkanis, A., Efthimiadou, A., Zorpas, A., & Kakabouki, I., (2013). Energy inputs, output and productivity in organic and conventional maize and tomato production, under Mediterranean conditions. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, *41*(1), 190-194. https://doi.org/10.15835/nbha4119081
13. Canakci, M. U. R. A. D., Topakci, M. E. H. M. E. T., Akinci, I., & Ozmerzi., A. (2005). Energy use pattern of some field crops and vegetable production: Case study for Antalya Region, Turkey. *Energy conversion and Management*, *46*(4), 655-666. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2004.04.008
14. Celik, L., & Oztürkcan, O. (2003). Effects of Dietary Supplemental L-Carnitine and Ascorbic Acid on Performance, Carcass Composition and Plasma L-Carnitine Concentration of Broiler Chicks Reared under Different Temperature. *Archives of Animal Nutrition*, *57*(1), 27-38. https://doi.org/10.1080/0003942031000086644
15. Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1979). Measuring the efficiency of decision-making units. *European Journal of Operational Research*, *3*(4), 339-338. https://doi.org/10.1016/0377-2217(79)90229-7
16. Chen, C., Habert, G., Bouzidi, Y., Jullien, A., & Ventura, A. (2010). LCA allocation procedure used as an incitative method for waste recycling: An application to mineral additions in concrete. *Resources, Conservation and Recycling 54*(12), 231-1240. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.04.001
17. Chianese, D. S., Rotz, C. A., & Richard, T. L. (2009). Whole-farm greenhouse gas emissions: A review with application to a Pennsylvania dairy farm. *Applied Engineering in Agriculture*, *25*(3), 431-442. https://doi.org/10.13031/2013.26895
18. Ciacci, L., & Passarini, F. (2020). Life cycle assessment (LCA) of environmental and energy systems. *Energies*, *13*(22), 5892. https://doi.org/10.3390/en13225892
19. Cochran, W. G. (1977). The Estimation of Sample Size. Sampl Tech. 3, 72-90.
20. De, D., Singh, R. S., & Chandra, H. (2001). Technological impact on energy consumption in rainfed soybean cultivation in Madhya Pradesh. *Applied Energy*, *70*(3), 193-213. https://doi.org/10.1016/s0306-2619(01)00035-6
21. Ecoinvent. (2021). https://www.Ecoinvent.Org/Database/Ecoinvent-371/Ecoinvent-371.Html. 2021
22. El Bilali, H., Callenius, C., Strassner, C., & Probst, L. (2019). Food and nutrition security and sustainability transitions in food systems. *Food and Energy Security*, *8*(2), e00154. https://doi.org/10.1002/fes3.154
23. Erdal, G., Esengün, K., Erdal, H., & Gündüz, O. (2007). Energy use and economical analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey. *Energy*, *32*(1), 35-41. https://doi.org/10.1016/j.energy.2006.01.007
24. Erzinger, S., Dux, D., Zimmermann, A., & Badertscher Fawaz, R. (2004). LCA of animal products from different housing systems in Switzerland: relevance of feedstuffs, infrastructure and energy use DIAS report: 55.
25. FAO. (2010). Greenhouse Gas Emissions from the Dairy Sector, A Life Cycle Assessment. A Report Prepared by Food and Agriculture Organization of the United Nations Animal Production and Health Division, Rome, Italy.
26. FAO. (2018). Climate change and the global dairy cattle sector – The role of the dairy sector in a low-carbon future. Rome. 36 pp. Licence: CC BY-NC-SA- 3.0 IGO.
27. Fathollahi, H., Mousavi-Avval, S. H., Akram, A., & Rafiee, S. (2018). Comparative energy, economic and environmental analyses of forage production systems for dairy farming. *Journal of Cleaner Production*, *182*, 852-862. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.073
28. Gerber, P. J., Hristov, A. N., Henderson, B., Makkar, H., Oh, J., Lee, C., Meinen, R., Montes, F., Ott, T., Firkins, J. & Rotz, A. (2013). Technical options for the mitigation of direct methane and nitrous oxide emissions from livestock: a review. *Animal*, *7*(s2), 220-234. https://doi.org/10.1017/s1751731113000876
29. Guinée, J. B., & Lindeijer, E. eds., (2002). Handbook on life cycle assessment: operational guide to the ISO standards (Vol. 7). Springer Science & Business Media.
30. Haas, G., Wetterich, F., & Köpke, U. (2001). Comparing intensive, extensified and organic grassland farming in southern Germany by process life cycle assessment. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *83*(1-2), 43-53. https://doi.org/10.1016/s0167-8809(00)00160-2
31. Hamedani, S. R., Rajabi, S., Shabani, Z., & Rafiee, Sh. (2011). Energy Inputs and Crop Yield Relationship in Potato Production in Hamadan Province of Iran. *Energy*, *36*(5), 2367-71. https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.01.013
32. Hosseinzadeh Lotfi, F., Jahanshahloo, G. R., Khodabakhshi, M., Rostamy-Malkhlifeh, M., Moghaddas, Z., & Vaez-Ghasemi, M. (2013). A review of ranking models in data envelopment analysis. *Journal of Applied Mathematics*, 2013. https://doi.org/10.1155/2013/492421
33. Huang, D., Shen, Z., Sun, C., & Li, G. (2021). Shifting from production-based to consumption-based nexus governance: evidence from an input–output analysis of the local water-energy-food nexus. *Water Resources Management*, *35*(6), 1673-1688. https://doi.org/10.1007/s11269-021-02797-4
34. ISO. (2006). 14040 International Standard. Environmental Management–Life Cycle Assessment–Principles and Framework, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland. 14040 International Standard.

Environmental Management–Life Cycle Assessment–Principles and Framework, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
35. Jan, P., Repar, N., Nemecek, T., & Dux, D. (2019). Production intensity in dairy farming and its relationship with farm environmental performance: Empirical evidence from the Swiss alpine area. *Livestock Science*, *224*, 10-19. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.03.019
36. Karimi, M., RajabiPour, A., Tabatabaeefar, A., & Borghei, A. (2008). Energy analysis of sugarcane production in plant farms a case study in Debel Khazai Agro-industry in Iran. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science*, *4*(2), 165-171.
37. Khanali, M., Akram, A., Behzadi, J., Mostashari-Rad, F., Saber, Z., Chau, K., & Nabavi-Pelesaraei, A. (2021). Multi-Objective Optimization of Energy Use and Environmental Emissions for Walnut Production Using Imperialist Competitive Algorithm. *Applied Energy*, *284*, 116342. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116342
38. Khoshroo, A., & Singh, S. (2021). Measuring Economic Efficiency of Kidney Bean Production using Non-Discretionary Data Envelopment Analysis. *Advances in Mathematical Finance and Applications*, *6*(2), 233-244.
39. Kitani, O., Jungbluth, T., Peart, R. M., & Ramdani, A. (1999). CIGR handbook of agricultural engineering. *Energy and Biomass Engineering*, *5*, 330.
40. Komleh, P. S., Omid, M., & Keyhani, A. (2011). Study on energy use pattern and efficiency of corn silage in Iran by using data envelopment analysis (DEA) technique. *International Journal of Environmental Sciences*, *1*(6), 1094.
41. Kumbar, N. (2015). Trakya Bolgesinde Buyykbas Hayvancilik isletmelerinin Etkinlik Analizi.
42. Lindgren, E., Harris, F., Dangour, A. D., Gasparatos, A., Hiramatsu, M., Javadi, F., Loken, B., Murakami, T., Scheelbeek, P., & Haines, A. (2018). Sustainable food systems- a health perspective. *Sustainability Science*, *13*(6), 1505-1517. https://doi.org/10.1007/s11625-018-0586-x
43. Molaei, M., & Thani, F. (2015). Estimation of technical efficiency and environmental efficiency of dairy farms in Sarab city (data envelopment analysis approach). *Animal Science Research (Agricultural Science)*, *25*(4), 141-155. (In Persian).
44. Nabavi-Pelesaraei, A., Rafiee, Sh., Mohtasebi, S. S., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., & Chau, K. W. (2019). Assessment of optimized pattern in milling factories of rice production based on energy, environmental and economic objectives. Energy, 169, 1259-1273. https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.12.106
45. Nikkhah, A., Emadi, B., & Firouzi, S. (2015). Greenhouse gas emissions footprint of agricultural production in Guilan province of Iran. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, *12*, 10-14. https://doi.org/10.1016/j.seta.2015.08.002
46. Omid, M., Ghojabeige, F., Delshad, M., & Ahmadi, H. (2011). Energy use pattern and benchmarking of selected greenhouses in Iran using data envelopment analysis. *Energy Conversion and Management*, *52*(1), 153-162. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.06.054
47. Ozkan, B., Akcaoz, H., & Fert, C. (2004). Energy input–output analysis in Turkish agriculture. *Renewable Energy*, *29*(1), 39-51. https://doi.org/10.1016/s0960-1481(03)00135-6
48. Pacheco, D., Waghorn, G., & Janssen, P. H. (2014). Decreasing methane emissions from ruminants grazing forages: a fit with productive and financial realities?. *Animal Production Science*, *54*(9), 1141-1154. https://doi.org/10.1071/an14437
49. Patra, A. K., & Yu, Z. (2015). Effects of garlic oil, nitrate, saponin and their combinations supplemented to different substrates on in vitro fermentation, ruminal methanogenesis, and abundance and diversity of microbial populations. *Journal of Applied Microbiology*, *119*(1), 127-138. https://doi.org/10.1111/jam.12819
50. Philippe, F. X., & Nicks, B. (2015). Review on greenhouse gas emissions from pig houses: Production of carbon dioxide, methane and nitrous oxide by animals and manure. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *199*, 10-25. https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.08.015
51. Rafiee, S., Khoshnevisan, B., Mohammadi, I., Aghbashlo, M., & Clark. S. (2016). Sustainability evaluation of pasteurized milk production with a life cycle assessment approach: an Iranian case study. *Science of the Total Environment*, *562*, 614-627. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.070
52. Ramedani, Z., Abdi, R., Omid, M., & Maysami, M. (2018). Evaluating the Energy Consumption and Environmental Impacts in Milk Production Chain (Case Study: Kermanshah City of Iran). *Journal of Agricultural Machinery*, *8*(2), 435-447. (In Persian).
53. Rattanatum, T., Frauzem, R., Malakul, P., & Gani, R. (2018). LCSoft as a tool for LCA: New LCIA methodologies and interpretation. *In Computer Aided Chemical Engineering*, *43*, 13-18. Elsevier. https://doi.org/10.1016/b978-0-444-64235-6.50005-x
54. Sefidpari, P., Rafiei, Sh., & Akram, A. (2012). *Comparison of energy consumption indicators and greenhouse gas emissions in industrial units of dairy cattle and laying hens in Tehran province*. First National Conference on Strategies for Achieving Sustainable Development, Tehran, Ministry of Interior. (In Persian).
55. Shortall, O. K., & Barnes, A. P. (2013). Greenhouse gas emissions and the technical efficiency of dairy farmers. *Ecological Indicators*, *29*, 478-488. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.01.022

56. Siewert, J. M., Salfer, J. A., & Endres, M. I. (2018). Factors associated with productivity on automatic milking system dairy farms in the Upper Midwest United States. *Journal of Dairy Science*, *101*(9), 8327-8334. https://doi.org/10.3168/jds.2017-14297
57. Singh, P., Singh, G., Sodhi, G. P. S., & Sharma, S. (2021). Energy optimization in wheat establishment following rice residue management with Happy Seeder technology for reduced carbon footprints in north-western India. *Energy*, *230*, 120680. https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120680
58. Soltanali, H., Emadi, B., Rohani, A., Khojastehpour, M., & Nikkhah, A. (2015). Life cycle assessment modeling of milk production in Iran. *Information Processing in Agriculture*, *2*(2), 101-108. https://doi.org/10.1016/j.inpa.2015.06.003
59. Wattiaux, M. A., Uddin, M. E., Letelier, P., Jackson, R. D., & Larson, R. A. (2019). Invited Review: Emission and mitigation of greenhouse gases from dairy farms: The cow, the manure, and the field. *Applied Animal Science*, *35*(2), 238-254. https://doi.org/10.15232/aas.2018-01803
60. Yadav, G. S., Das, A., Lal, R., Babu, S., Datta, M., Meena, R. S., Patil, S. B., & Singh, R. (2019). Impact of no-till and mulching on soil carbon sequestration under rice (*Oryza sativa* L.)-rapeseed (*Brassica campestris* L. var. rapeseed) cropping system in hilly agro-ecosystem of the Eastern Himalayas, India. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 275, 81-92. https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.02.001
61. Yaldiz, O., Ozturk, H. H., Zeren, Y., & Bascetincelik, A. (1993). October. *Energy usage in production of field crops in Turkey*. In 5th International Congress on Mechanisation and Energy Use in Agriculture. Turkey: Kusadasi 11-14.